



BESTANDSANALYSE, POTENZIALANALYSE

22. Januar 2025, aktueller Stand



ENERGIE VOM PROFI!

Stadtwerke
Hattingen®



Gas- und Wärme-
Institut Essen e.V.



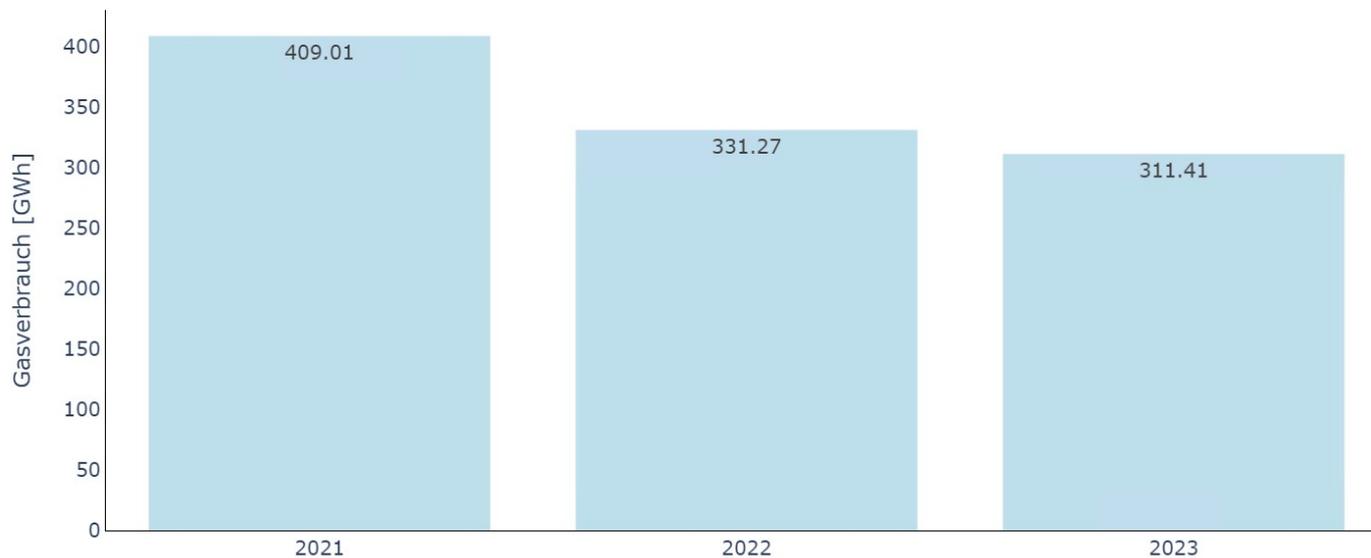
Verbrauchsdaten – Überblick

	Gas	Strom	Wärmepumpen	Nachtspeicher
Datenpunkte	11551	35264	496	1213
Adressscharf zugeordnet	99,50 %	99,63 %	100 %	100 %
Verbrauch 2022 [GWh/a]	313,9	150,4	1,6	5,1

Datenbasis: Stadtwerke Hattingen, AVU, ALKIS, OSM

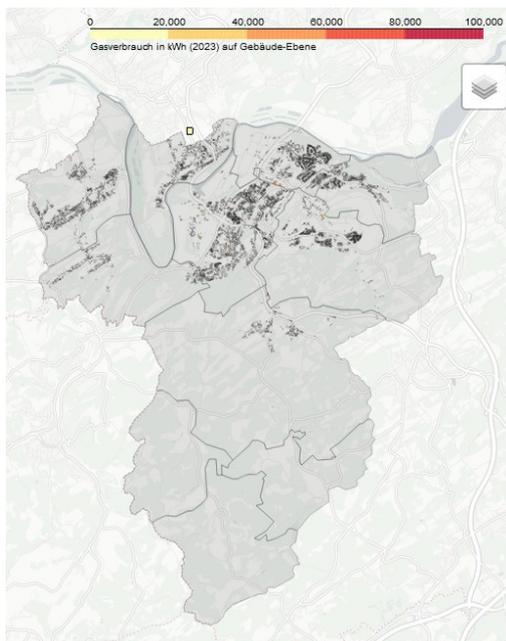
Gasverbrauchsdaten

Jahresgesamt-Gasverbräuche in GWh/a (2021-2023)

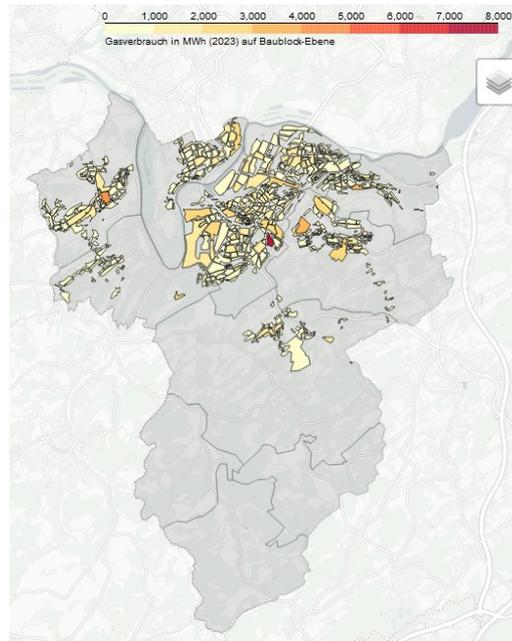


Gasverbrauchsdaten – Aggregationsebenen

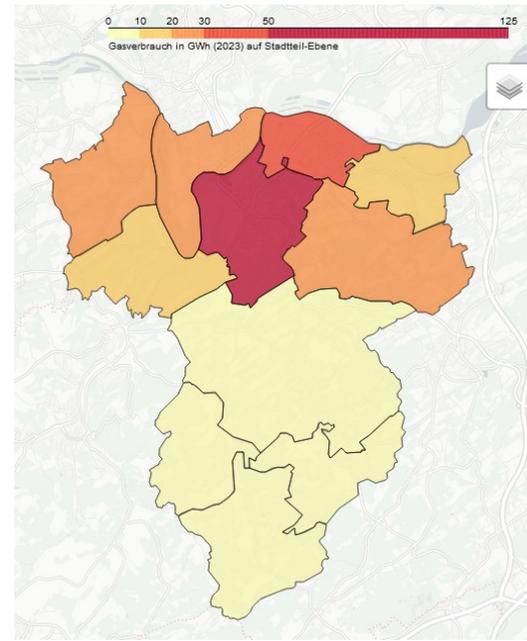
Gebäude-Ebene



Baublock-Ebene

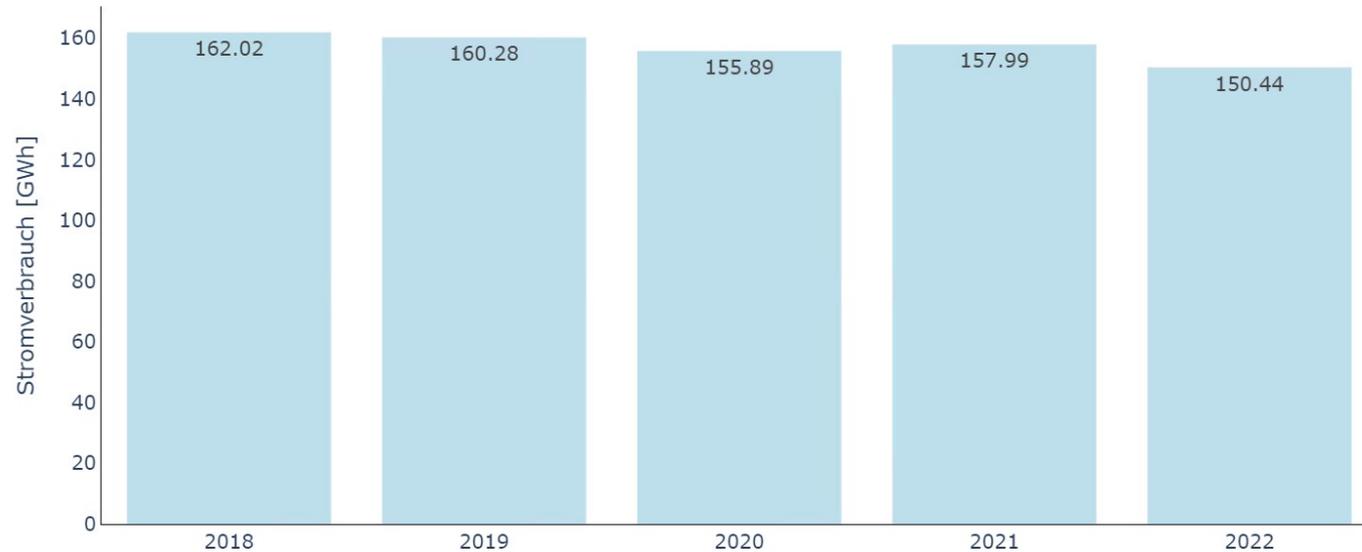


Stadtteil-Ebene

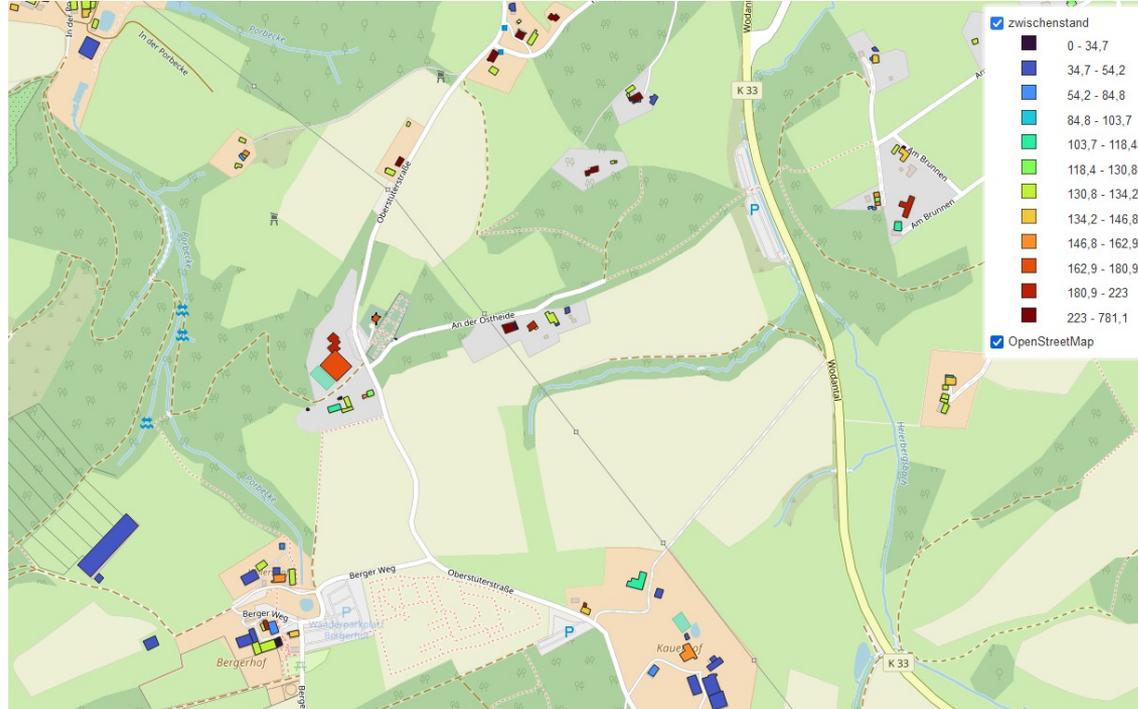


Stromverbrauchsdaten

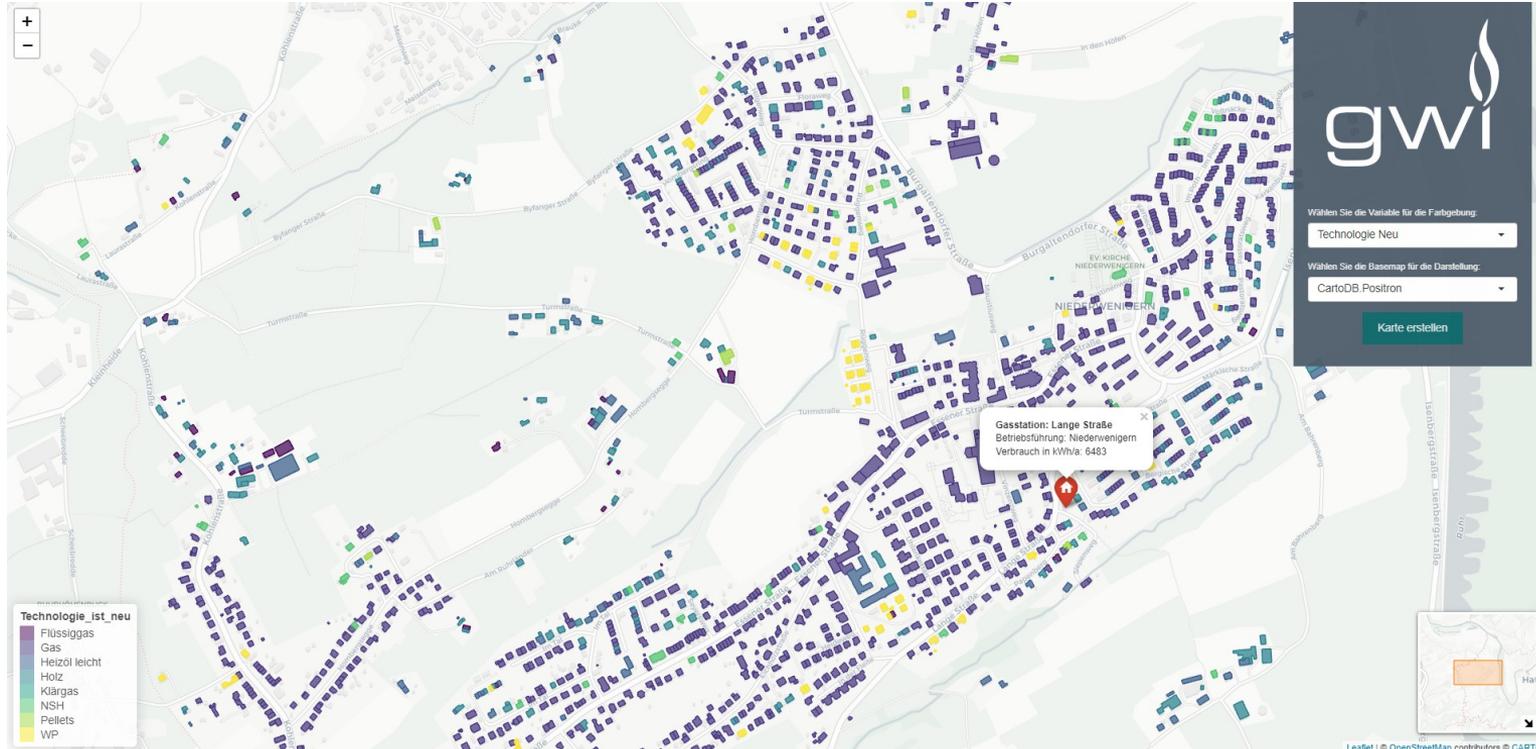
Jahresgesamt-Stromverbräuche in GWh/a (2018-2022)



Spezifische Wärmebedarfe kWh/(m² a)

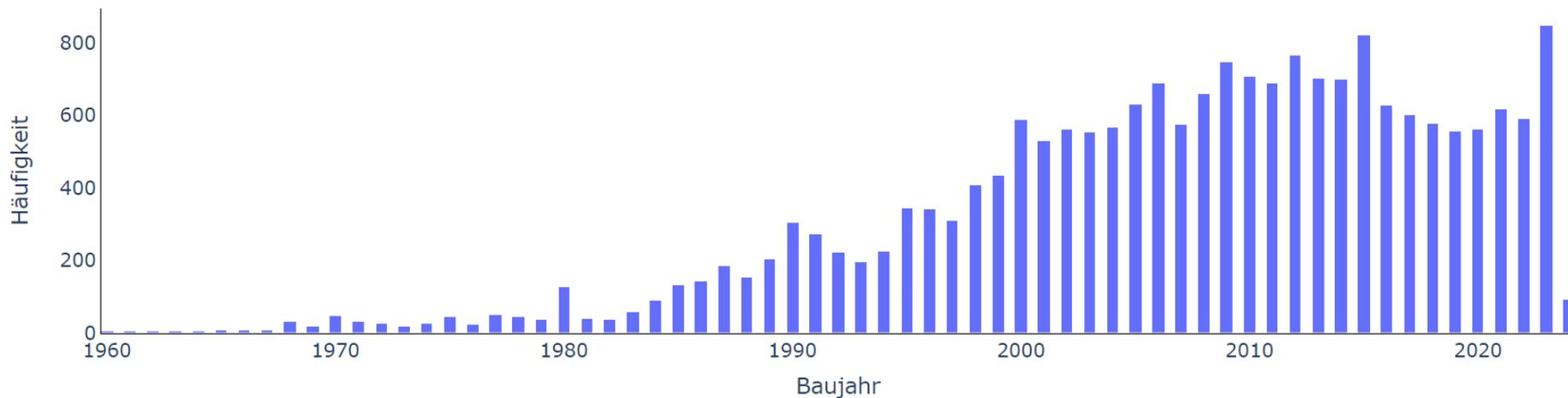


Technologieverteilung



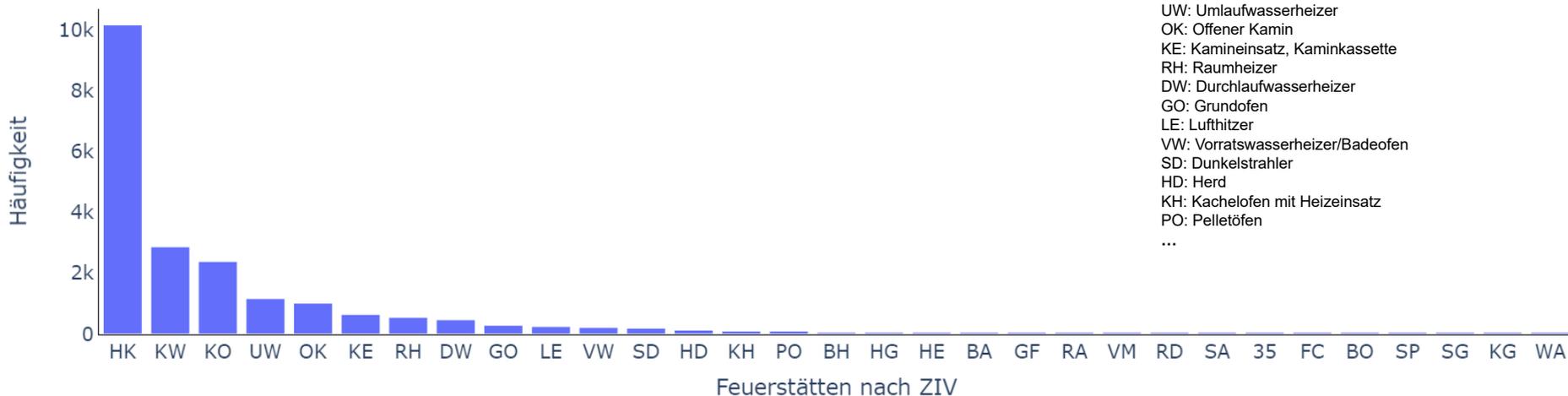
Schornsteinfegerdaten- Einbaujahre

Verteilung der Einbaujahre (1960-2024)



Schornsteinfegerdaten – Technologieverteilung

Technologieverteilung der Feuerstätten nach ZIV



HK: Heizkessel
KW: Kombiwasserheizer
KO: Kaminofen
UW: Umlaufwasserheizer
OK: Offener Kamin
KE: Kamineinsatz, Kaminkassette
RH: Raumheizer
DW: Durchlaufwasserheizer
GO: Grundofen
LE: Lufthitzer
VW: Vorratswasserheizer/Badeofen
SD: Dunkelstrahler
HD: Herd
KH: Kachelofen mit Heizeinsatz
PO: Pelletöfen
...

Schornsteinfegerdaten – Technologieverteilung auf Gebäudepolygone

Technologieverteilung vor und nach
Verarbeitung der Schornsteinfegerdaten

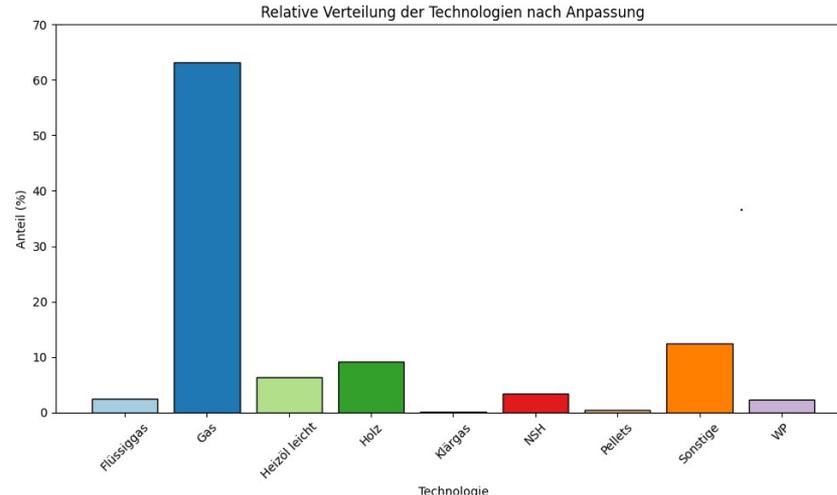
	Technologie_ist (%)	Technologie_ist_neu (%)
Erdölgas	0.000000	0.005640
Flüssiggas	0.000000	2.414124
Gas	60.195160	62.112922
Heizöl leicht	0.000000	6.086074
Holz (Hackschnitzel)	0.000000	0.050764
Holz (Scheitholz)	0.000000	8.968357
Holz (Sägemehl)	0.000000	0.062045
Holzpellets	0.000000	0.524564
Klärgas	0.000000	0.011281
NSH	3.389926	3.389926
Sonstige	34.102318	12.177788
WP	2.312595	2.312595
naturbelassenes Erdgas	0.000000	1.883919

	Technologie_ist (%)	Technologie_ist_neu (%)
Flüssiggas	0.000000	2.453607
Gas	60.195160	63.252298
Heizöl leicht	0.000000	6.260928
Holz	0.000000	9.154493
Klärgas	0.000000	0.062045
NSH	3.389926	3.389926
Pellets	0.000000	0.541486
Sonstige	34.102318	12.572621
WP	2.312595	2.312595

Zur Vereinfachung und besseren Visualisierung nehmen wir die folgenden Zuordnungen vor:

- Naturbelassenes Erdgas -> Gas
- Erdölgas -> Flüssiggas
- Holz (Hackschnitzel/Scheitholz/Sägemehl) -> Holz
- Holzpellets -> Pellets

Anschließend sieht die Verteilung wie folgt aus:



Zentralheizungen – Lösungsoption

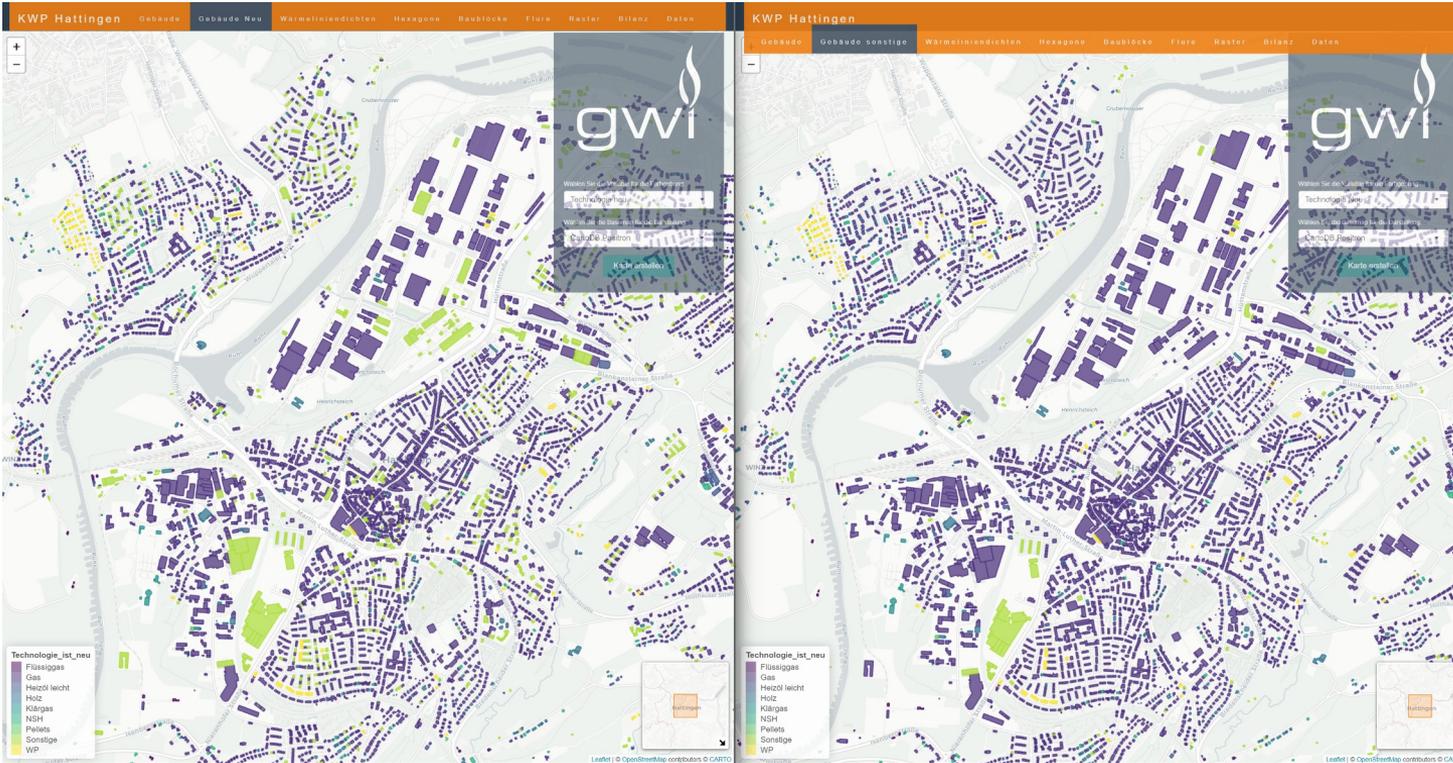


Bei Zentralheizungen für mehrere benachbarte Gebäude erhält nur ein Gebäude die Technologie „Gas“ und die übrigen „Sonstige“. Dieses Gebäude erhält auch den kompletten Wärmebedarf zugeordnet.

Lösungsoption: Suche alle Baublöcke, in denen Gebäude gasversorgt sind und einen um 10% höheren Wärmebedarf haben, als vom Lanuv angegeben.

Bilde die Summe aller Wärmebedarfe mit der Technologie „Gas“ im Baublock und verteile diese Summe proportional zu den Lanuv Wärmebedarfen auf alle Gebäude mit der Technologie „Gas“ oder „Sonstige“ in diesem Baublock.

Zentralheizungen – Nach Anwenden der Lösungsoption



Links: Vor Verteilung der Verbräuche der zentralversorgten Gebäude

Rechts: Nach Aufteilung der Verbräuche auf Baublockebene

Technologie_ist_neu	Technologie_ist_neu (%)
Gas	68.622032
Holz	9.160133
Sonstige	7.067516
Heizöl leicht	6.339895
NSH	3.395567
Flüssiggas	2.515652
WP	2.312595
Pellets	0.524564
Klärgas	0.062045

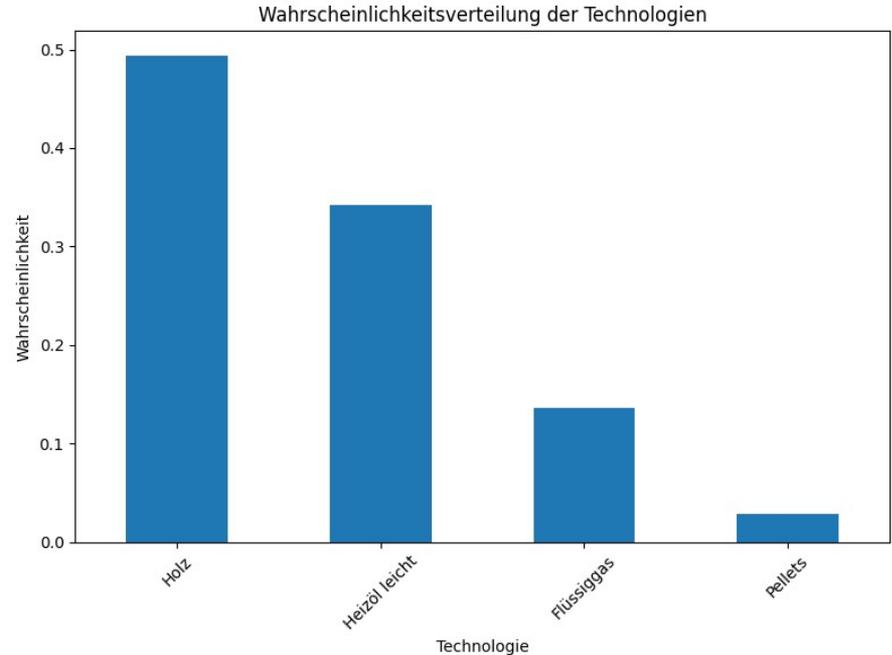
Etwa 5,5 Prozentpunkte wurden von der Technologie „Sonstige“ zur Technologie „Gas“ verschoben und die Gasverbräuche auf Baublockebene verteilt. Die Verteilung der mit Gas versorgten Gebäude sieht nun plausibler aus.

Technologieverteilung um die Technologie Sonstige zu eliminieren

Gebäude, die noch keine Technologie zugeordnet haben, wird zufällig eine Technologie basierend auf der in der Grafik angegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilung zugewiesen.

Dabei gehen wir davon aus, dass die Technologien Gas, WP, NSH und Klärgas für diese Gebäude nicht verfügbar sind, da wir sonst die entsprechenden Daten hätten.

Für die zugelassenen Technologien berechnen wir, nach Ausschluss der nicht zugelassenen Technologien, den relativen Anteil im Datensatz und verteilen dann zufällig die Technologien entsprechend der daraus resultierenden Gewichtung.



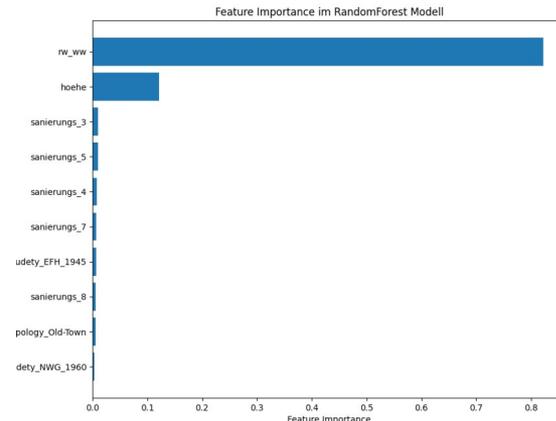
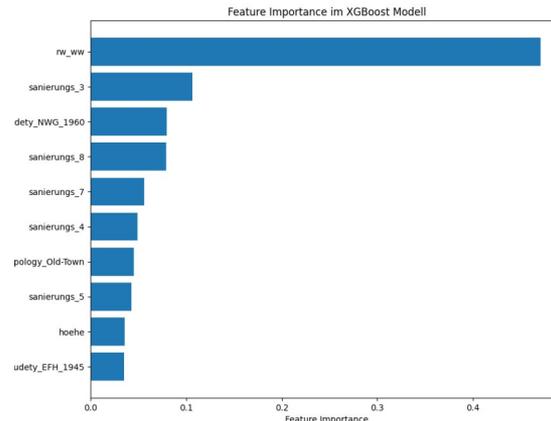
Vorhersage Thermischer Wärmebedarf der Gebäudehülle

Wir können für Gebäude, für die Realdaten vorliegen (Gas, WP, NSH), den thermischen Wärmebedarf bestimmen. Für alle übrigen Technologien muss der Thermische Wärmebedarf der Gebäudehülle bestimmt werden.

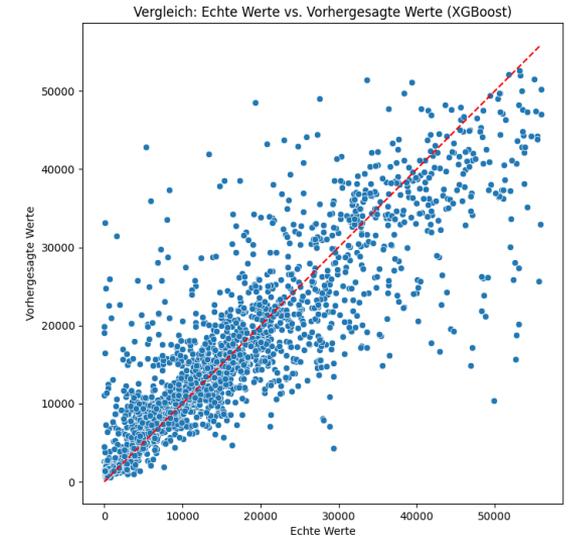
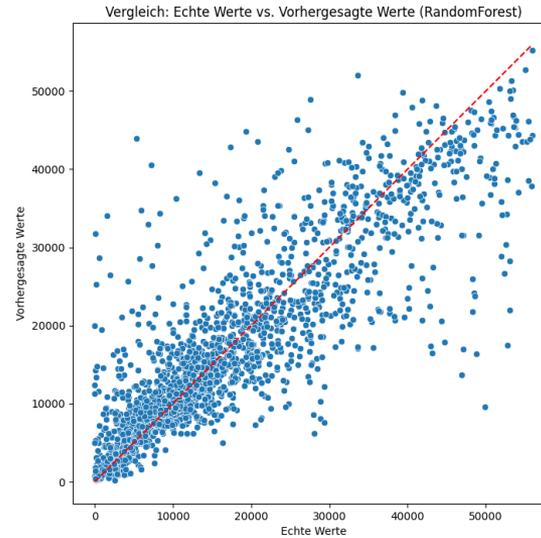
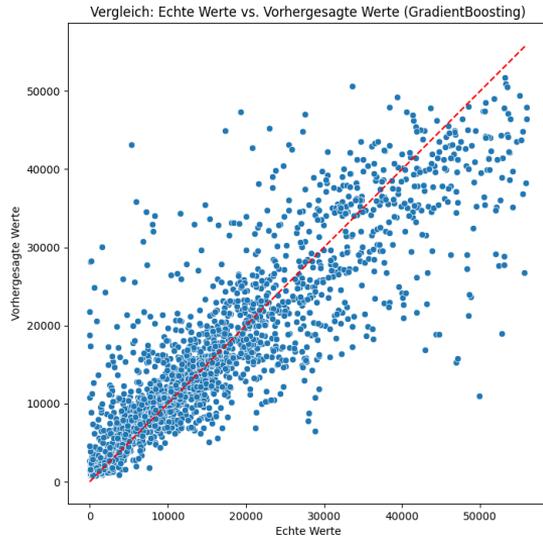
Nutzung der Realdaten, um drei Machine Learning Modelle (GradientBoosting, RandomForest, XGBoost) zu trainieren, die den Thermischen Wärmebedarf der Gebäudehülle basierend auf den folgenden feature Variablen vorhersagen:

- hoehe
- rw_ww
- typology_Old-Town
- sanierungs_3
- sanierungs_4
- sanierungs_5
- sanierungs_7
- sanierungs_8
- gebaedety_EFH_1945
- gebaedety_NWG_1960

Modell	Beste Parameter	MAE	MSE	RÂ ²
GradientBoosting	{'learning_rate': 0.1, 'max_depth': 5, 'n_estimators': 100}	3.733,69	60.190,46	0,78
RandomForest	{'max_depth': 20, 'n_estimators': 300}	3.691,33	61.158,49	0,77
XGBoost	{'learning_rate': 0.1, 'max_depth': 7, 'n_estimators': 100}	3.731,08	61.870,18	0,77



Vorhersagequalität auf den Realdaten des Testdatensatzes



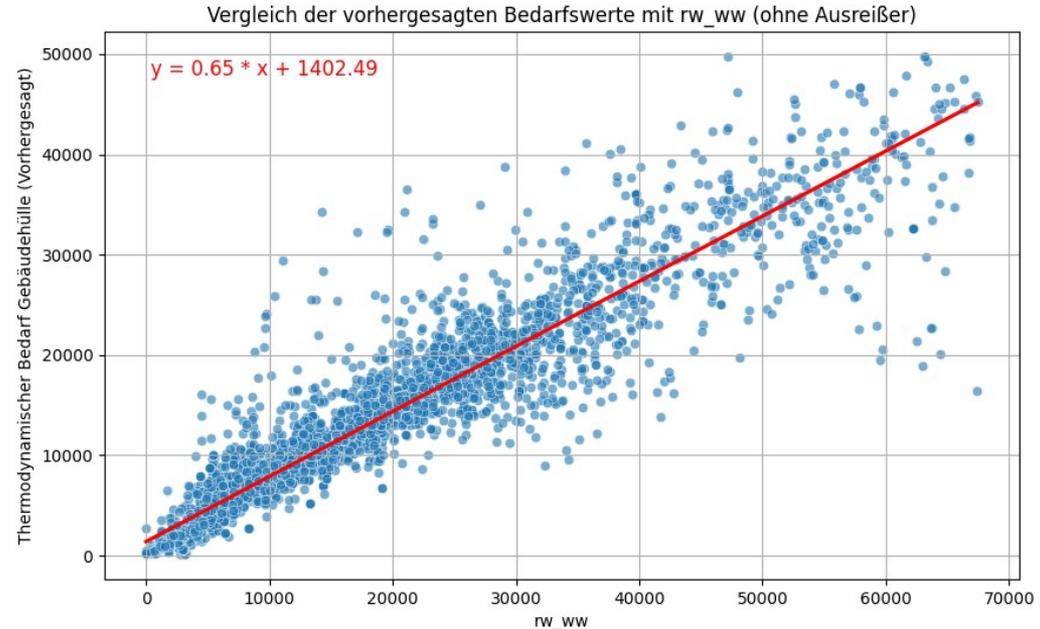
Vorhersage und Abgleich mit Lanuv Daten



Wir nutzen das RandomForest Modell, um die Thermischen Bedarfe der Gebäudehülle vorherzusagen und vergleichen die Vorhersagen, mit den Raumwärmebedarfen des Lanuv.

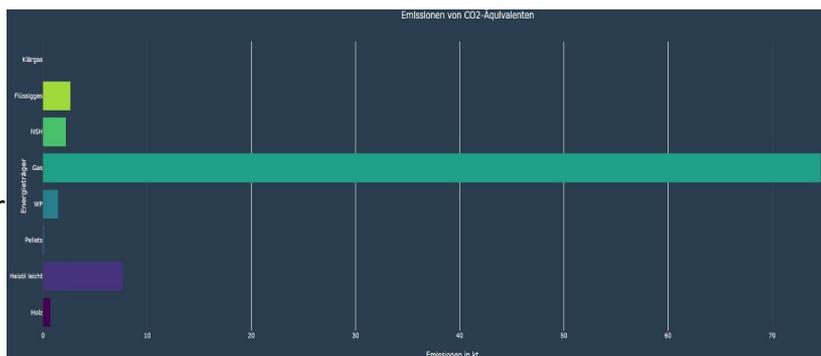
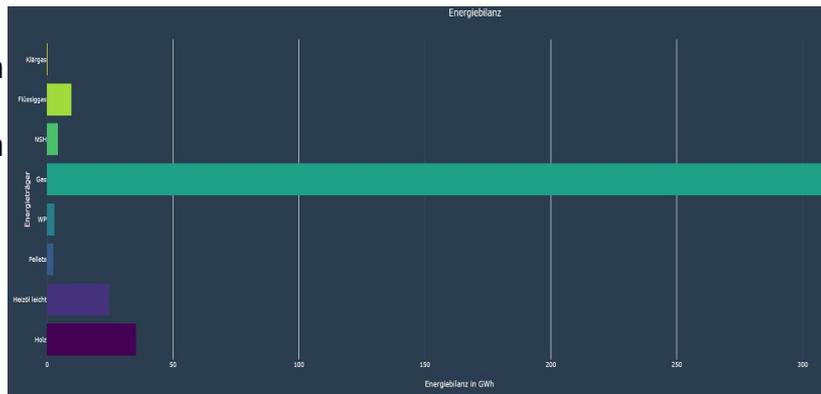
Es zeigt sich ein starker linearer Zusammenhang, was die Feature Importance bereits impliziert.

Unsere Vorhersagen betragen im Mittel etwas mehr als 65% des Lanuv Raumwärmebedarfs.



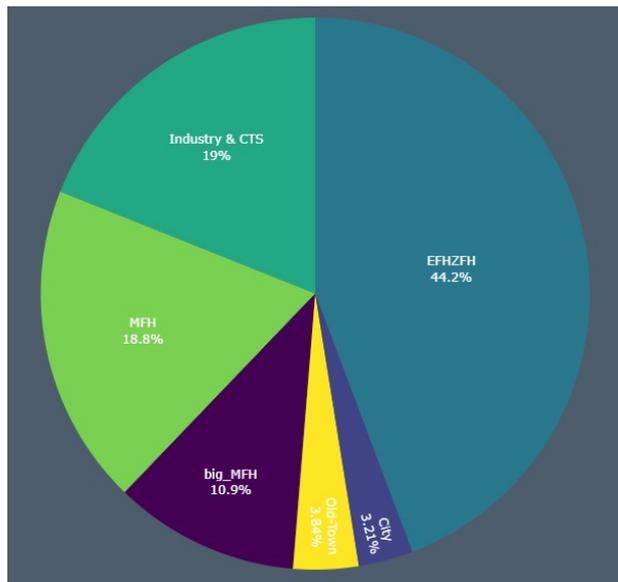
Bilanzen – Energiebilanz & CO2-Äquivalente

Für Gebäude, deren realer Energieverbrauch die Lanuv Raumwärmebedarfe um mehr als 50% unterschreitet, verteilen wir eine Zusatztechnologie. Nachdem anschließend alle Gebäude eine Heiztechnologie und einen Thermischen Bedarf der Gebäudehülle zugewiesen bekommen haben, können wir unter Berücksichtigung der Wirkungsgrade und Emissionsfaktoren bilanzieren:



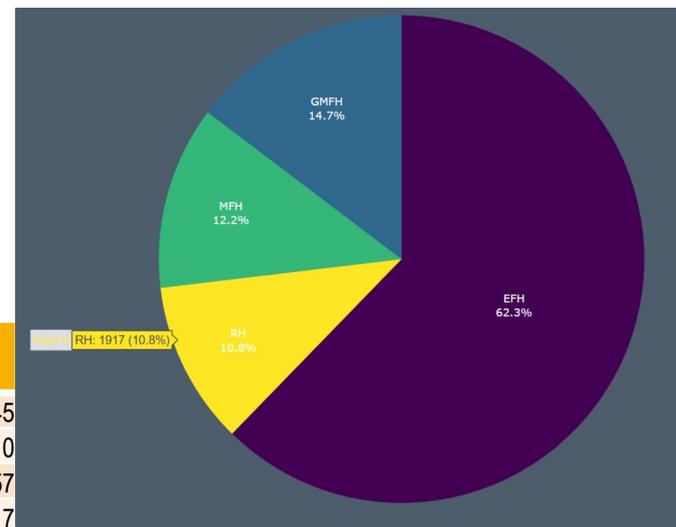
Energieträger	Energieverbrauch 2022 in GWh / (in %)	Emissionen von CO2 Äquivalenten in kt / (in %)
Klärgas	0,14 / (0,04%)	0,00 / (0,00%)
Flüssiggas	9,71 / (2,49%)	2,62 / (2,93%)
NSH	4,39 / (1,12%)	2,19 / (2,45%)
Gas	311,11 / (79,63%)	74,67 / (83,61%)
WP	2,88 / (0,74%)	1,44 / (1,61%)
Pellets	2,58 / (0,66%)	0,05 / (0,06%)
Heizöl	24,63 / (6,30%)	7,63 / (8,54%)
Holz	35,25 / (9,02%)	0,70 / (0,78%)
Gesamt	390,69	89,31

Deskriptive Statistiken - Typologieverteilung & Wohngebäudetyp



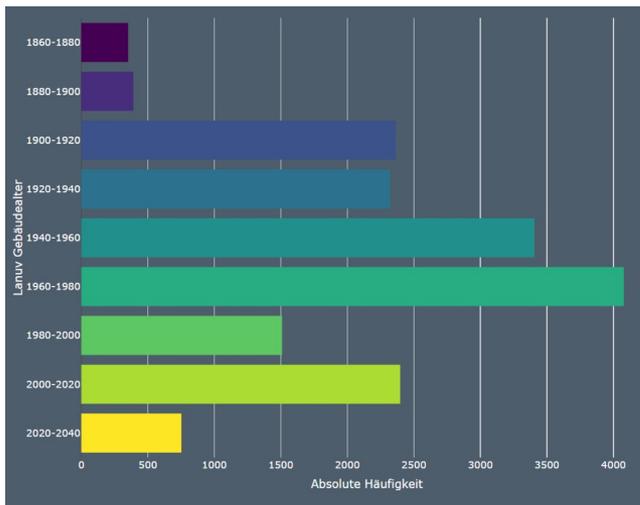
Typologie	Gebäudeanzahl*
EFHZFH	7705
Industry & CTS	3304
MFH	3277
Big_MFH	1900
Old-Town	668
City	559

Wohngebäudetyp (Lanuv)	Gebäudeanzahl*
EFH	11045
GMFH	2610
MFH	2157
RH	1917



* Aufgrund unterschiedlicher Datenquellen kann die Anzahl der erfassten Gebäude variieren

Deskriptive Statistiken - Gebäudealter & Heizungsinstallationsjahr



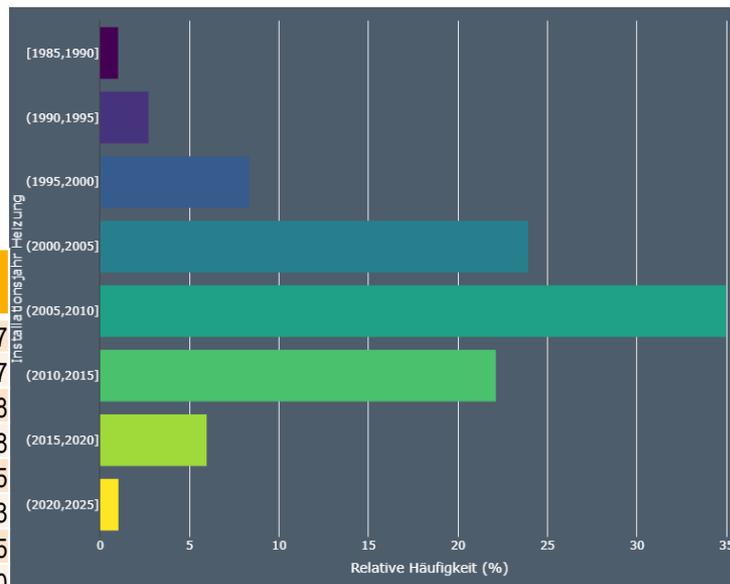
Gebäudealter (Lanuv)	Gebäudeanzahl*
1860-1879	352
1880-1899	391
1900-1919	2364
1920-1939	2322
1940-1959	3406
1960-1979	4087
1980-1999	1509
2000-2019	2397
Ab 2020	752

Anmerkung: Gebäude mit einem Baujahr „vor 1900“ in den Lanuv Daten bekommen zufällig Baujahre zwischen 1850 und 1899 zugeteilt.

```
# Baualtersklassen-Zuordnung mit Intervallen
baualtersklassen = {
  1900: (1850, 1899),
  1945: (1900, 1945),
  1960: (1946, 1960),
  1970: (1961, 1970),
  1980: (1971, 1980),
  1985: (1981, 1985),
  1995: (1986, 1995),
  2000: (1996, 2000),
  2005: (2001, 2005),
  2010: (2006, 2010),
  2015: (2011, 2015),
  2022: (2016, 2022)
}
```

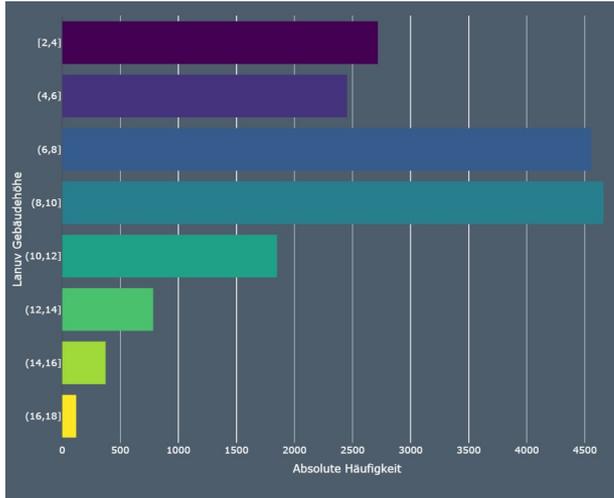
Anmerkung: Da keine gebäudescharfen Baujahre vorliegen, muss eine statistische Verteilung erfolgen, sodass die reale Verteilung von der hier gezeigten leicht abweichen kann.

Installationsjahr (Schornsteinfeger)	Gebäudeanzahl*
1985-1990	147
1991-1995	397
1996-2000	1228
2001-2005	3518
2006-2010	5145
2011-2015	3253
2016-2020	875
Ab 2021	150



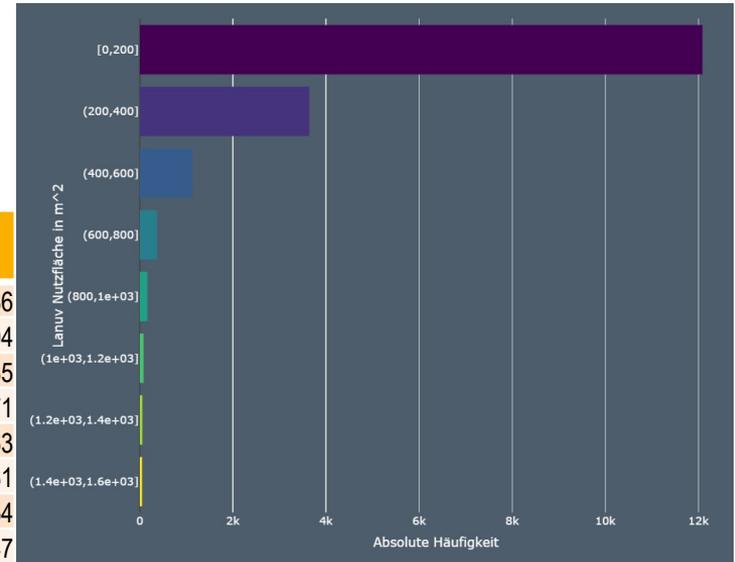
* Aufgrund unterschiedlicher Datenquellen kann die Anzahl der erfassten Gebäude variieren

Deskriptive Statistiken - Gebäudehöhe & Nutzfläche



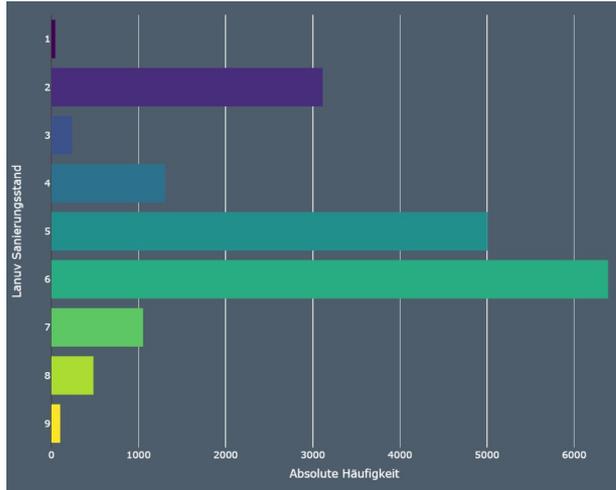
Höhe in m (Lanuv)	Gebäudeanzahl*
2-4	2718
4-6	2453
6-8	4555
8-10	4660
10-12	1849
12-14	783
14-16	373
16-18	120

Nutzfläche in (Lanuv)	Gebäudeanzahl*
0-200	12086
201-400	3604
401-600	1135
601-800	371
801-1000	163
1001-1200	81
1201-1400	54
1401-1600	47



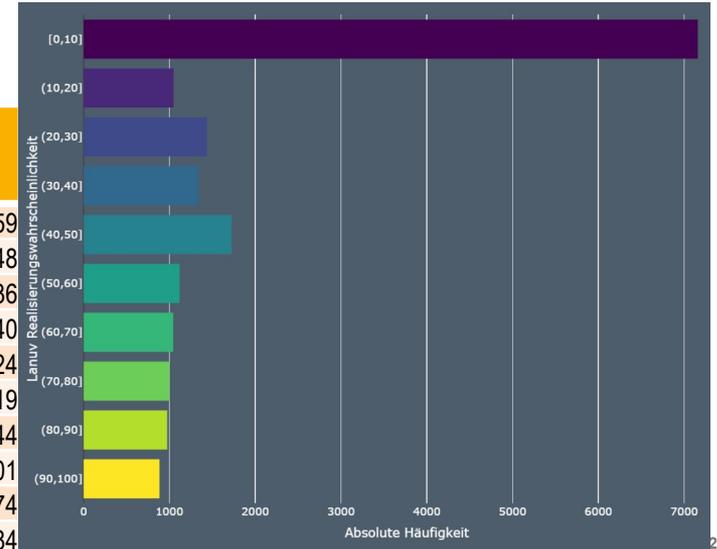
* Aufgrund unterschiedlicher Datenquellen kann die Anzahl der erfassten Gebäude variieren

Deskriptive Statistiken - Sanierungsstand & Realisierungschance



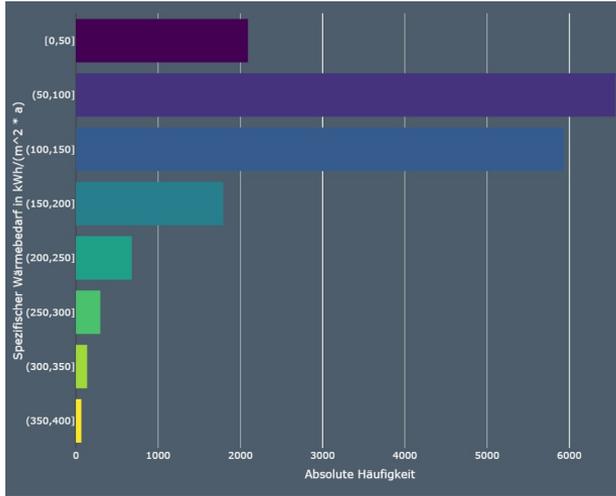
Sanierungsstand (Lanuv)	Gebäudeanzahl*
A+ (1)	45
A (2)	3113
B (3)	236
C (4)	1305
D (5)	5005
E (6)	6389
F (7)	1052
G (8)	483
H (9)	101

Realisierungschance in % (Lanuv)	Gebäudeanzahl*
0-10	7159
10-20	1048
20-30	1436
30-40	1340
40-50	1724
50-60	1119
60-70	1044
70-80	1001
80-90	974
90-100	884



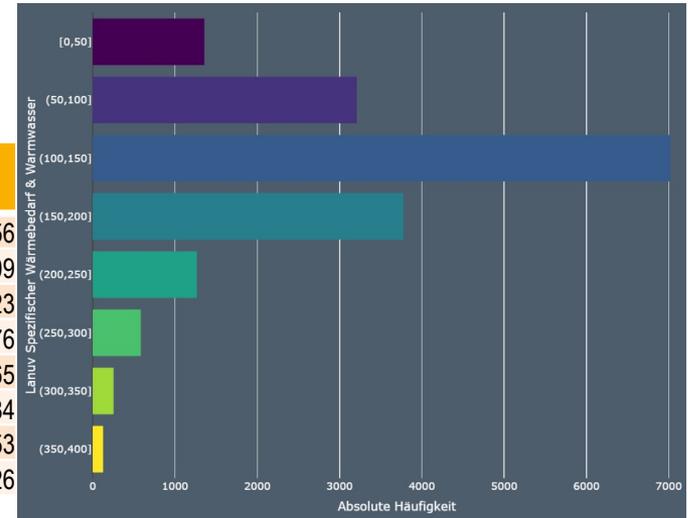
* Aufgrund unterschiedlicher Datenquellen kann die Anzahl der erfassten Gebäude variieren

Deskriptive Statistiken - Spezifische Wärmebedarfe



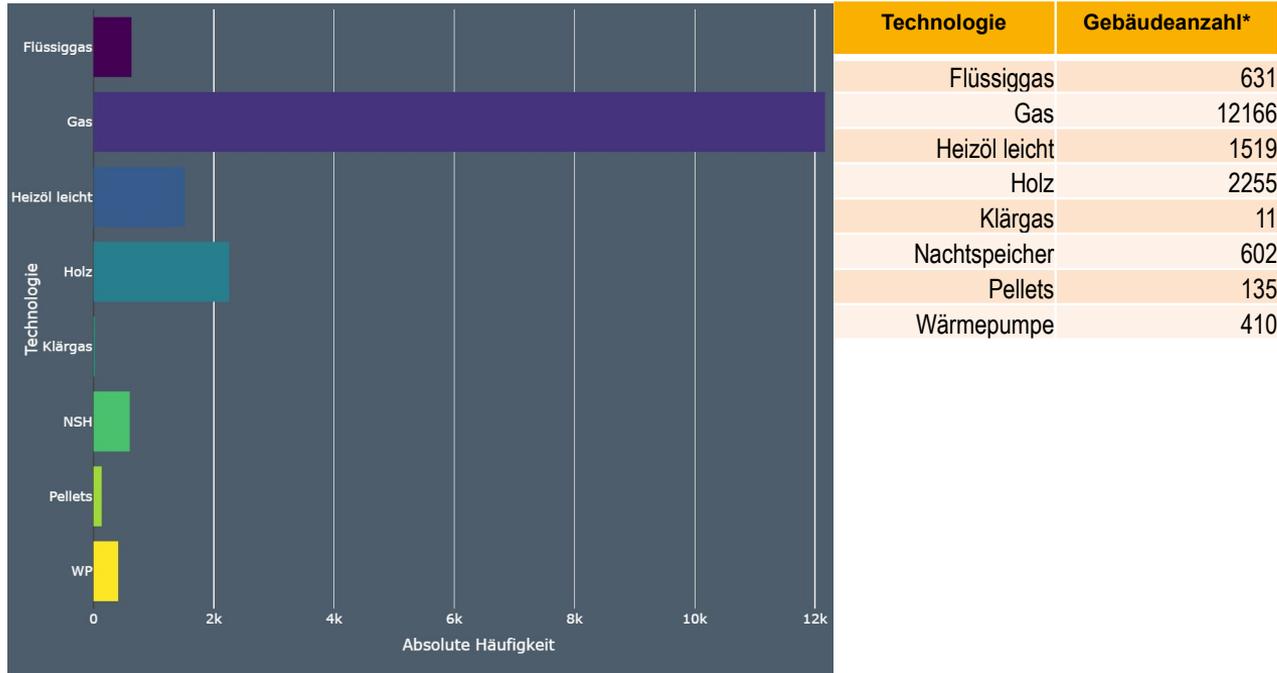
Spez. Wb. (Realdaten / Prediction)	Gebäudeanzahl*
0-50	2092
51-100	6562
101-150	5934
151-200	1790
201-250	679
251-300	296
301-350	136
351-400	66

Spez. Wb. (Lanuv)	Gebäudeanzahl*
0-50	1356
51-100	3209
101-150	7023
151-200	3776
201-250	1265
251-300	584
301-350	253
351-400	126



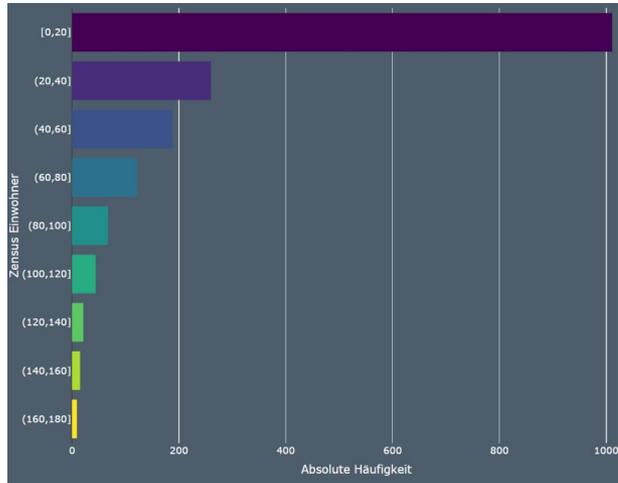
* Aufgrund unterschiedlicher Datenquellen kann die Anzahl der erfassten Gebäude variieren

Deskriptive Statistiken - Heiztechnologie/Energieträger



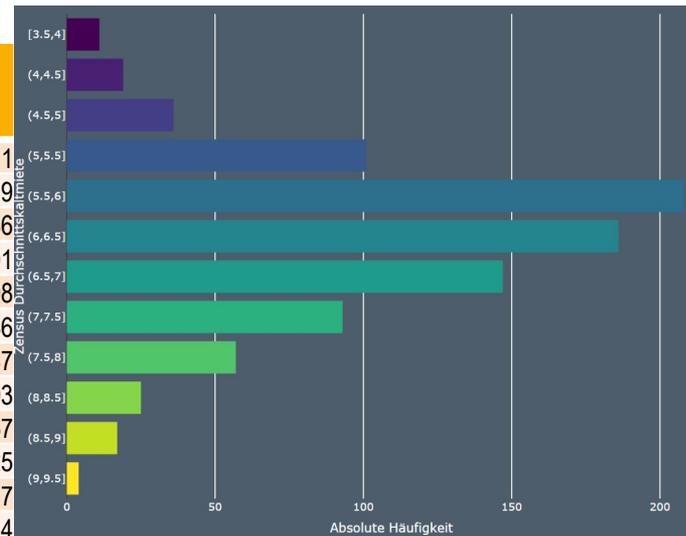
* Aufgrund unterschiedlicher Datenquellen kann die Anzahl der erfassten Gebäude variieren

Deskriptive Statistiken - Einwohner & Kaltmiete in Zensus Rastern



Einwohner (Zensus 2022)	Rasteranzahl
0-20	1011
21-40	260
41-60	188
61-80	122
81-100	67
101-120	44
121-140	21
141-160	15
161-180	9

Quadratmeterk altmiete in € (Zensus 2022)	Rasteranzahl
3,50-4,00	11
4,01-4,50	19
4,51-5,00	36
5,01-5,50	101
5,51-6,00	208
6,01-6,50	186
6,51-7,00	147
7,01-7,50	93
7,51-8,00	57
8,01-8,50	25
8,51-9,00	17
9,01-9,50	4



Datenschutz - Clustering Überblick



Um den Datenschutz gewährleisten zu können, wurden die Adressen auf über 700 Cluster verteilt, wobei jedes Cluster aus mindestens 5 Adressen besteht.

Die Daten werden der Stadt Hattingen auf Ebene von Gebäudepolygonen zur Verfügung gestellt. Zuvor werden jedoch die gebäudescharfen Daten eines Clusters aufsummiert und anschließend proportional zur Nutzfläche der Gebäude verteilt. Auf diese Weise sind keine Rückschlüsse auf die Realdaten der einzelnen Gebäude möglich.

Für kategoriale Variablen wie Technologien wird für jedes Cluster ein prozentualer Anteil ermittelt.

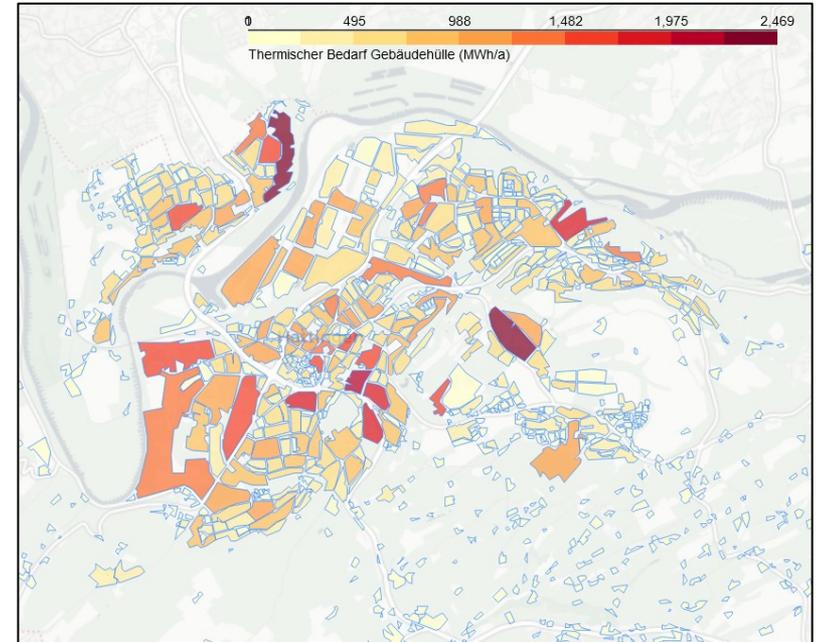
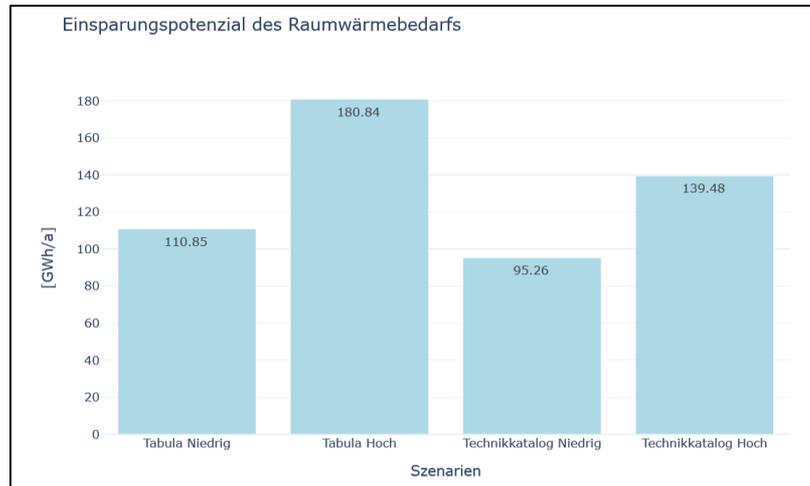
Datenschutz - Clustering Methodik

- Reduziere die Gebäudepolygone auf ein Polygon (maximale Nutzfläche) pro Adresse.
- Extrahiere für diese Polygone die Nord- und Ostkoordinaten der zugehörigen Zensus 2022 Raster (100mx100m) über die „raster_id“, um zu ermitteln, welche Gebäude sich in nah beieinander liegenden Rastern befinden.
- Berechne die Anzahl der Adressen pro Raster, teile die Raster mit mehr als 20 Adressen auf und weise der resultierenden Aufteilung eine eindeutige „cluster_id“ zu.
- Weise allen übrigen Rastern eine eindeutige „cluster_id“ zu.
- Identifiziere die „cluster_id’s“ mit weniger als 5 Adressen und iteriere über diese.
- Suche das Raster mit dem geringsten Abstand und füge die Gebäude des „zu kleinen Clusters“ dem nächstgelegenen Cluster hinzu.
- Stoppe den Prozess, sobald alle Cluster mindestens 5 Adressen enthalten.
- Weise über die Adresse allen zur Adresse gehörigen Polygonen die erzeugten „cluster_id’s“ zu.

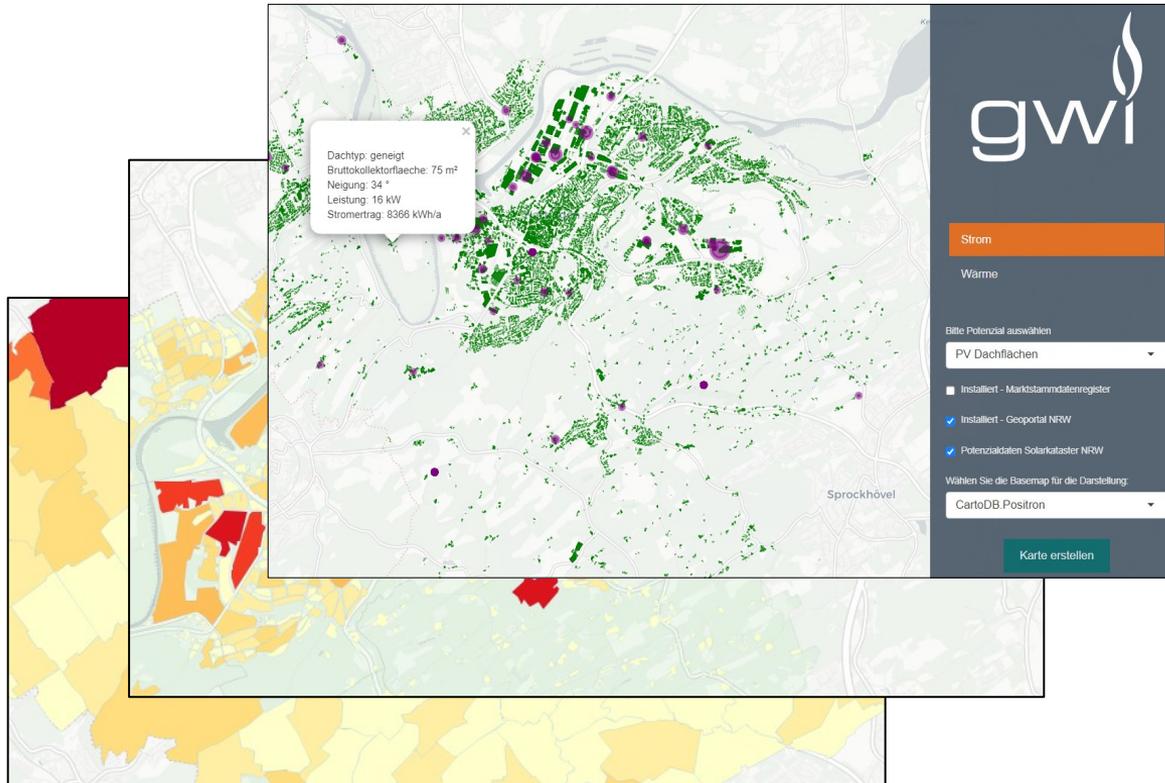
Potenzialanalyse - Gebäudesanierung

Sanierungspotenzial:

Auf Grundlage der Bestandsanalyse wurde der thermische Bedarf der Gebäudehülle eines jeden Gebäudes ermittelt. Darauf aufbauend konnte das maximal mögliche Einsparungspotenzial des thermischen Bedarfs durch Sanierungsmaßnahmen berechnet werden. Zugrunde liegen hierfür vier verschiedene Sanierungsszenarien aus dem Technikkatalog des BMWK und des IWU.



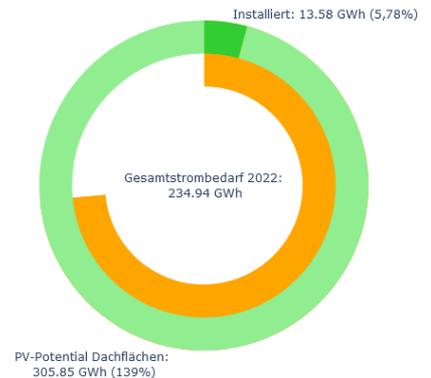
Potenzialanalyse Strom - Dach- und Freiflächen PV



Photovoltaik:

Die Solarkataster für Dach- und Freiflächen wurden auf verschiedene Ebenen aggregiert und liefern einen detaillierten Einblick in die PV-Potenziale einzelner Gebiete der Stadt. Die Marktstammdaten liefern darüber hinaus Daten über bereits installierte PV-Anlagen.

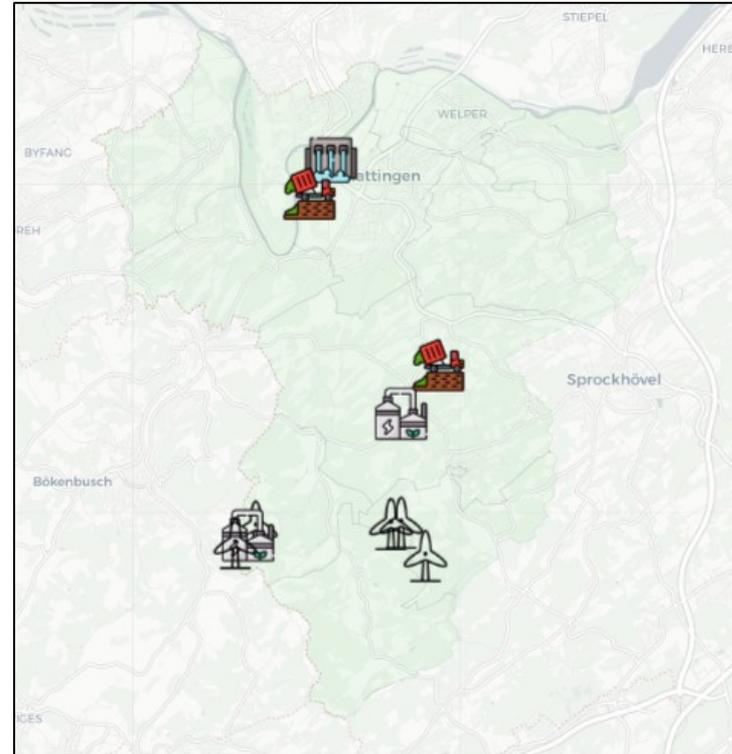
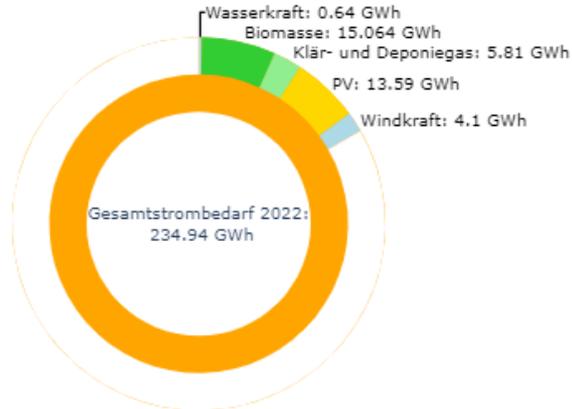
Gesamtstromverbrauch vs. PV-Dachflächen-Potenzial



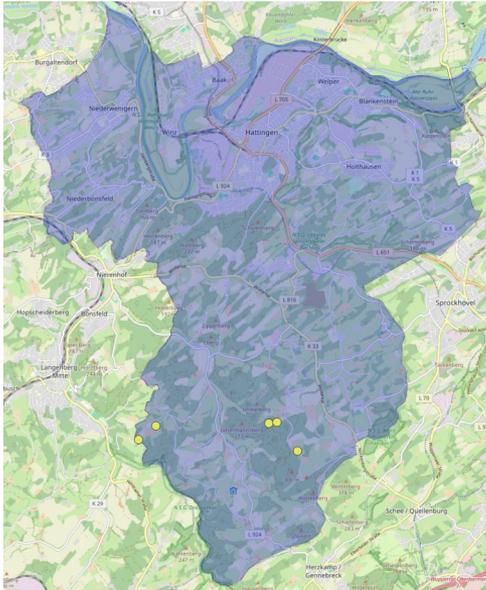
Potenzialanalyse Strom - Windkraft, Wasserkraft und KWK

Energieerzeugende Anlagen:

Die Marktstammdaten liefern Einsicht in bereits bestehende strom- und wärmeerzeugende Anlagen innerhalb der Stadt. Diesen Daten sollen im weiteren Verlauf der Potenzialanalyse durch Realdaten der Anlagen- bzw. Netzbetreiber ergänzt werden, um den Status-Quo der Energieerzeugung zu evaluieren.



Potenzialanalyse Strom - Windkraft (Bestand & Potenziale)



Windenergieanlagen im Hattinger Bestand

Bestand

Bei den aktuell im Bestand befindlichen Anlagen ist mit einem Stromertrag von etwa 5,3 GWh/a zu rechnen.

Lanuv_id	Inbetriebnahme	Leistung (KW)	Rotordurchmesser (m)	Nabenhöhe (m)	Ø Leistung (KW)	Ø produzierte Energie (MWh/a)
WEA_1392	1992	80	21	40	27	238
WEA_1610	1997	500	40	65	100	878
WEA_1611	2000	600	48	70	42 (142)*	366 (1245)*
WEA_769	2009	2300	71	64	422 (311)*	3696 (2724)*
WEA_4377	1992	80	18	36	21	183
Gesamt	-	3560	-	-	464 (601)*	4062 (5268)*

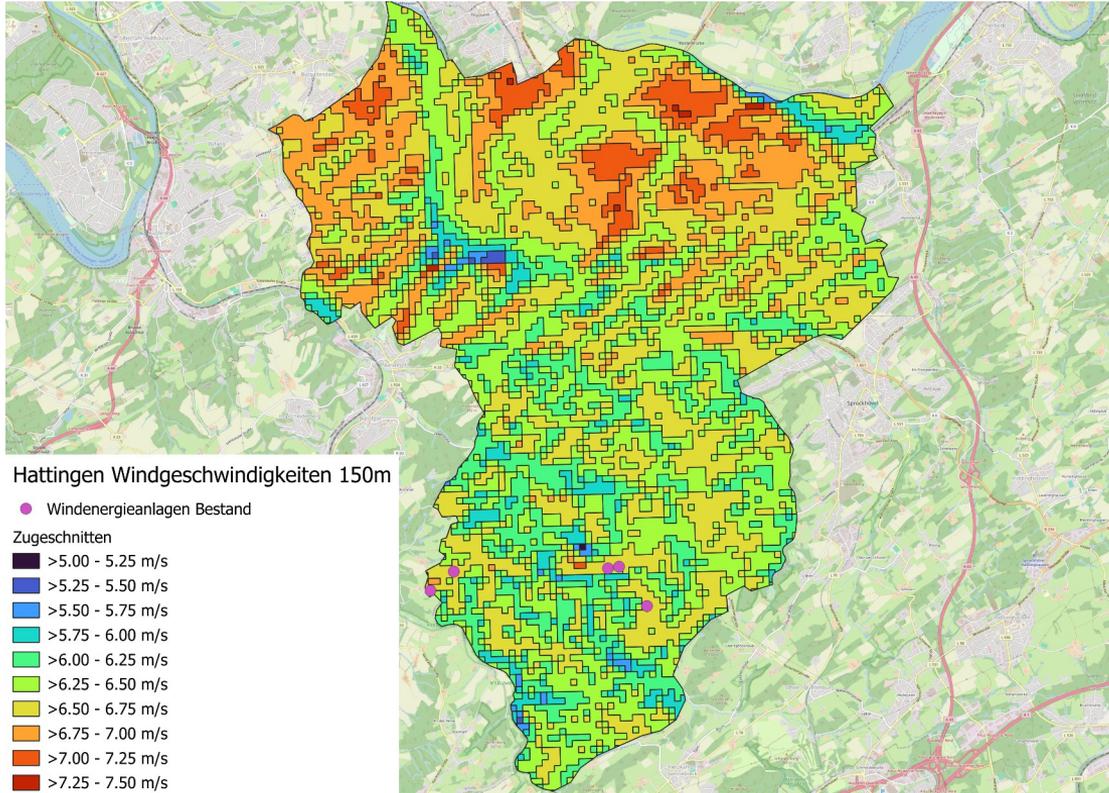
Erläuterung

Die gelb markierten Anlagen sind stillgelegt, zur rot markierten Anlage liegen keine Daten vor. Die mit * markierten Anlagen enthalten Messwerte und in Klammern synthetische geschätzte Werte.

Repowering

Durch ein Repowering **einer** Bestandsanlage auf eine Anlage mit 160m Nabenhöhe und Rotordurchmesser und einer Nennleistung von 6 MW könnten Potenziale i.H.v. 11,8-15.4 GWh/a erreichbar sein.

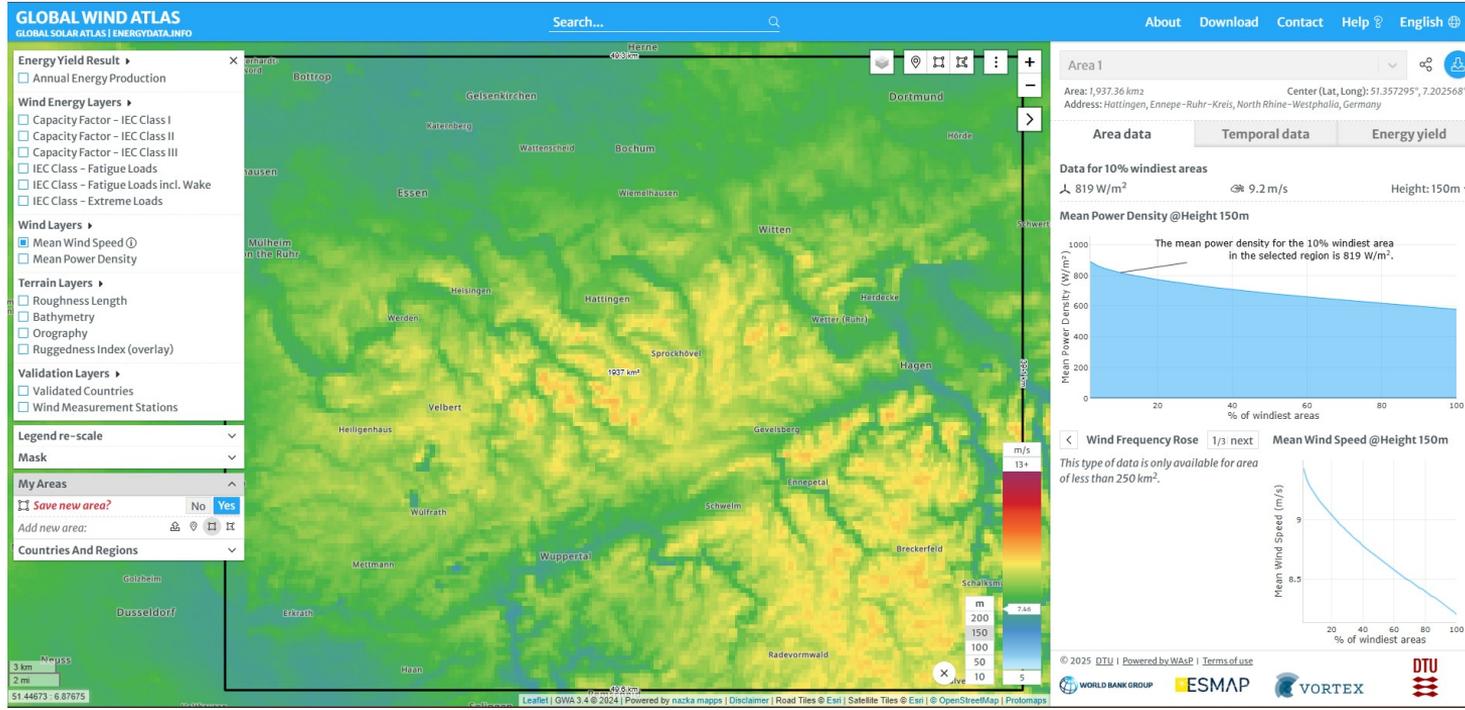
Potenzialanalyse Strom - Windkraft (Windgeschwindigkeiten)



Windgeschwindigkeiten

Dargestellt sind die zu erwartenden durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten in einer Höhe von 150m. Die aktuell im Bestand befindlichen Anlagen befinden sich überwiegend in Flächen mit durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten von 6,5-6,75 m/s

Potenzialanalyse Strom - Windkraft (Windgeschwindigkeiten)

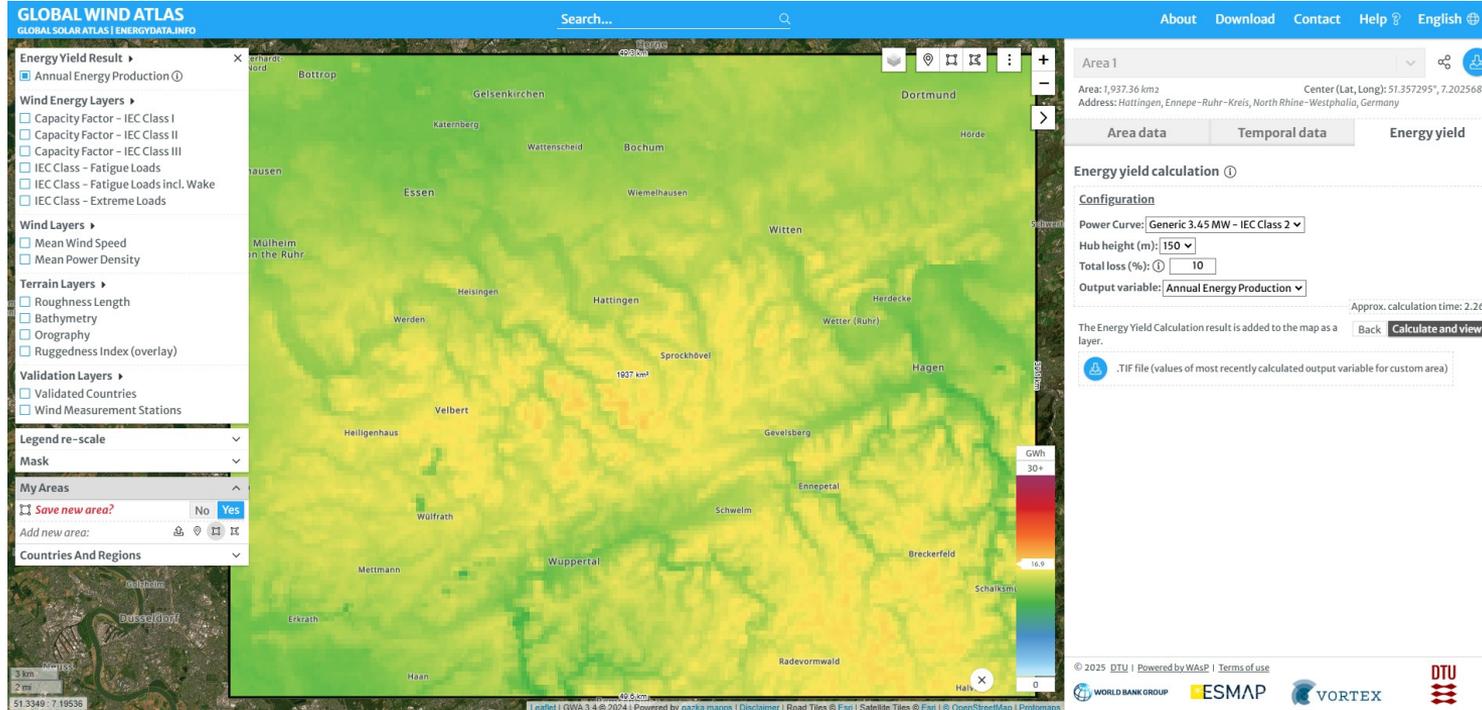


Windgeschwindigkeiten:

Ein Abgleich mit den Daten des Global Wind Atlas (<https://globalwindatlas.info/en/>)

zeigt, dass im südlichen Stadtgebiet von Hattingen in 150m Höhe geeignete Flächen zur Ernte von Windenergie vorliegen könnten.

Potenzialanalyse Strom - Windkraft (Potenziale)



Jährlicher Ertrag:

Im Global Wind Atlas wird bei einer Anlage mit Nabenhöhe 150m und Rotordurchmesser 160m ebenfalls ein Potential von 15-17 GWh/a angegeben, was sich gut mit den GWI-internen Berechnungen mit geringeren Windgeschwindigkeiten des Lanuv verträgt.

Quelle:

<https://globalwindatlas.info/en/>

Potenzialanalyse Strom - Windkraft (Windeigenschaften)

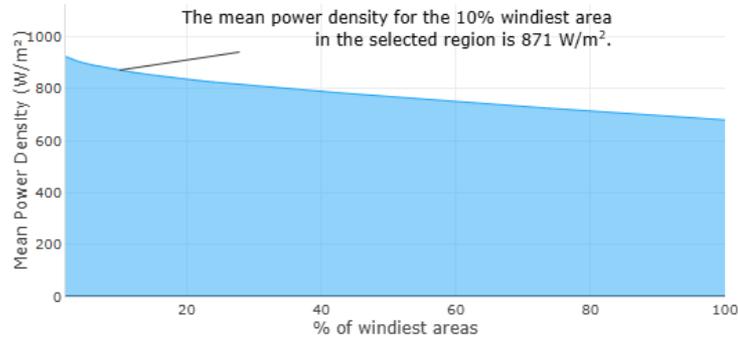
Data for 10% windiest areas

871 W/m²

9.41 m/s

Height: 150m

Mean Power Density @Height 150m



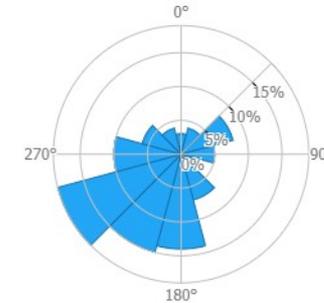
Weitere Eigenschaften:

- Die 10% der windigsten Regionen in einer Höhe von 150m haben eine mittlere Energiedichte von 871 W/m²
- Die Windrichtung ist überwiegend Südwest
- Die mittlere Windgeschwindigkeit übersteigt die des Lanuv, was potenziell höhere Erträge impliziert

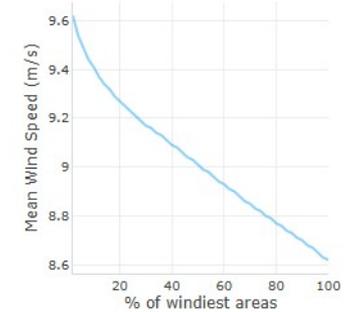
Quelle:

<https://globalwindatlas.info/en/>

Wind Frequency Rose 1/3 next

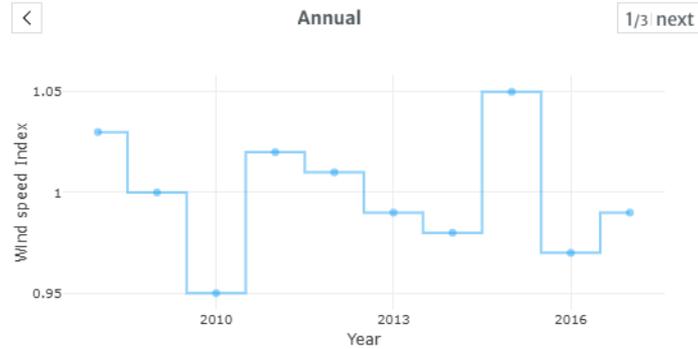


Mean Wind Speed @Height 150m

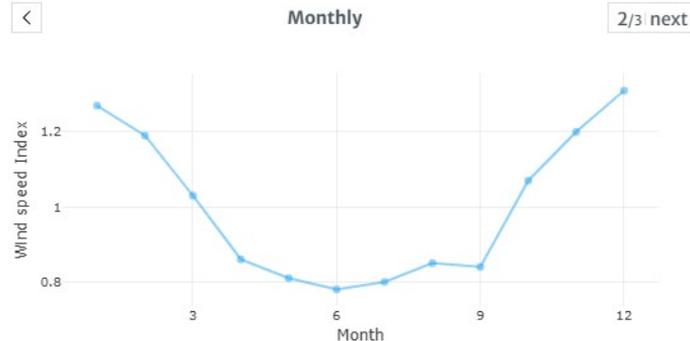


Potenzialanalyse Strom - Windkraft (Windvariabilität in 100m)

Wind Speed Variability



Wind Speed Variability



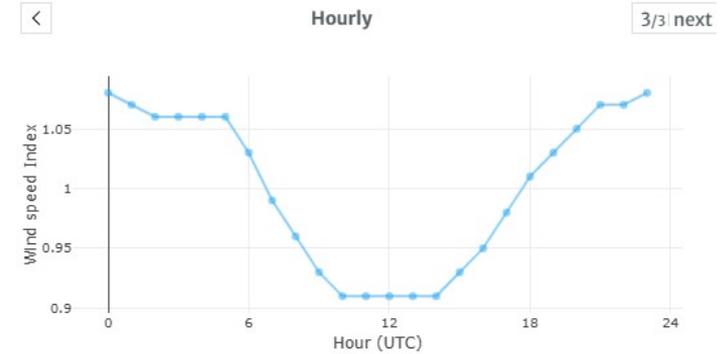
Variabilität:

- Über mehrere Jahre geringfügige Schwankungen im Bereich von +/-5%
- Schwächste Ertragsmonate sind April-September. Komplementär zu PV
- Schwächste Ertragsstunden 11-15 bzw. 12-16 Uhr (Sommer- bzw. Winterzeit)

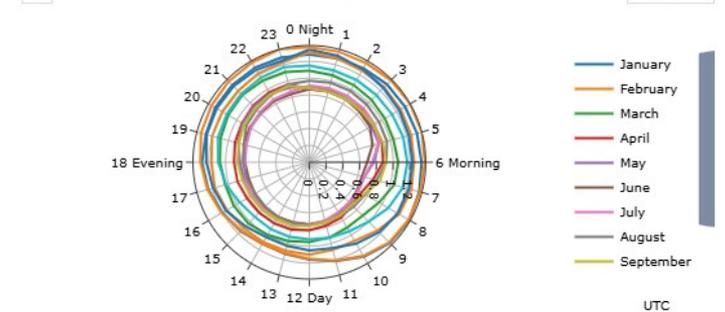
Quelle:

<https://globalwindatlas.info/en/>

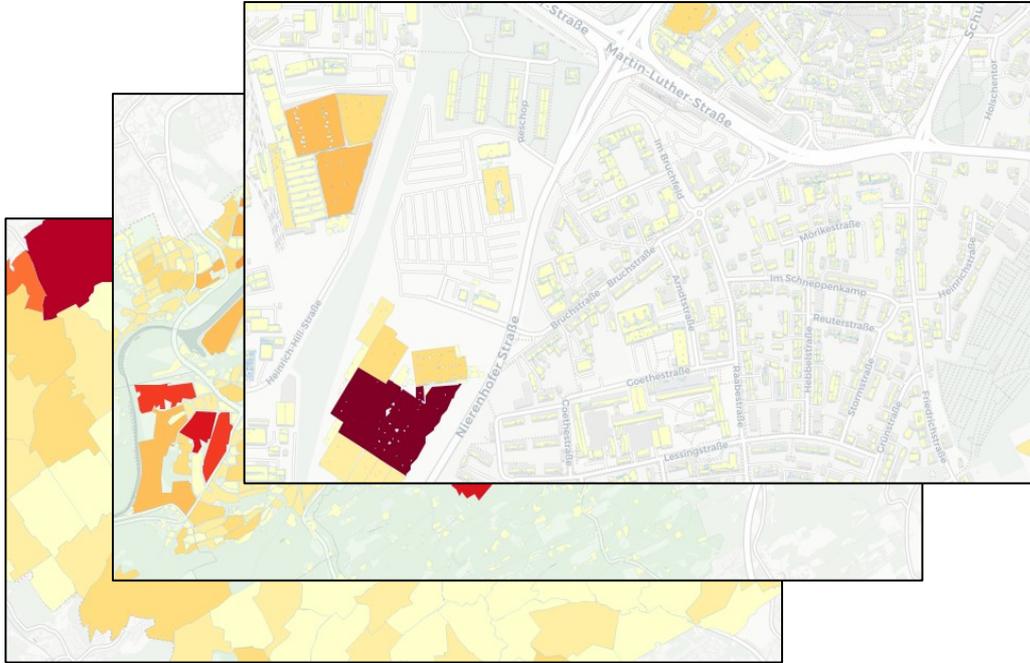
Wind Speed Variability



Hourly vs. monthly (radar plot)



Potenzialanalyse Wärme - Solarthermie



Solarthermie:

Äquivalent zu den Photovoltaik-Potenzialen liegen auch die Katasterdaten für Dach- und Freiflächen-Solarthermie auf verschiedenen Aggregationsebenen und unter Berücksichtigung verschiedener Technologien vor.

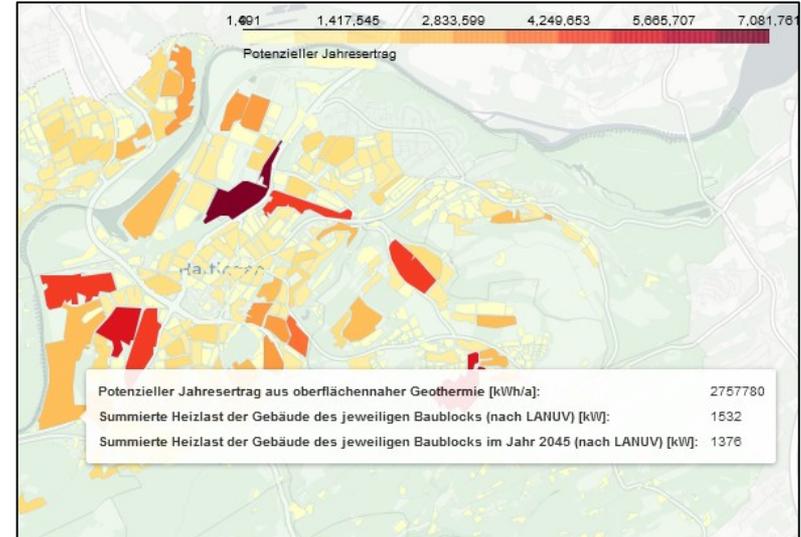
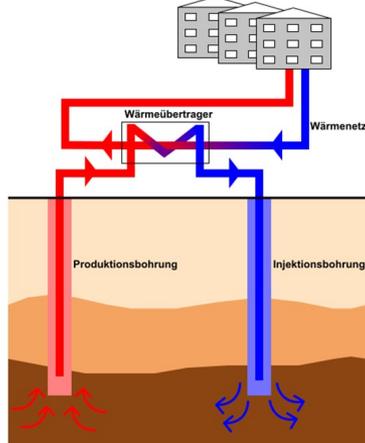


Potenzialanalyse Wärme - Geothermie

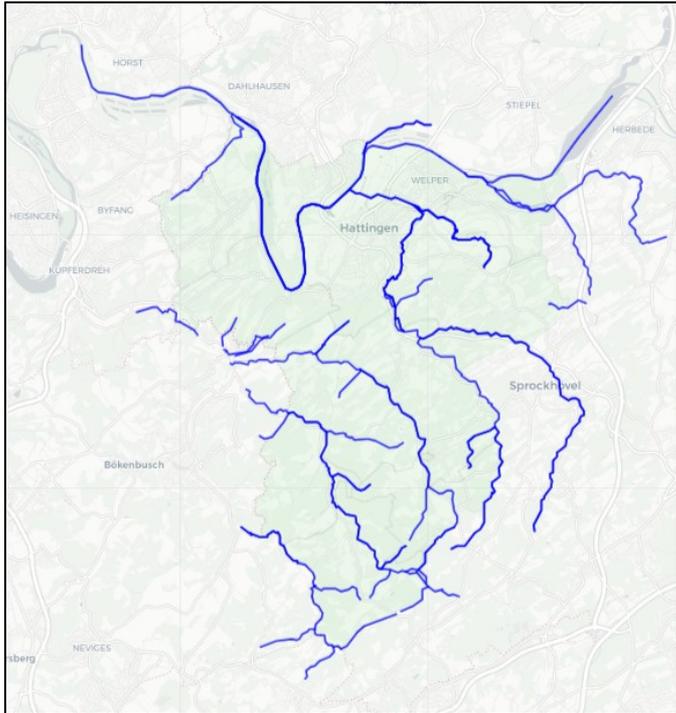
Oberflächennahe-, Mitteltiefe- und Tiefen-Geothermie:

Eine erste Abschätzung zum Potenzial der Wärmeerzeugung durch Geothermie liefert eine kürzlich erschienene Studie des LANUV. Die Potenziale der oberflächennahen Geothermie wurden dabei für Sondertiefen von **40m**, **150m** und **250m** auf Baublock-Ebene berechnet, für mitteltiefe Geothermie bis zu **1000m**. Daten zur Tiefengeothermie sind noch nicht verfügbar. Die Daten sollen im weiteren

Verlauf der Potenzialanalyse durch zusätzliche Studien und Untersuchungen vervollständigt werden, um ein detailliertes Bild über das Geothermie-Potenzial zu erhalten.



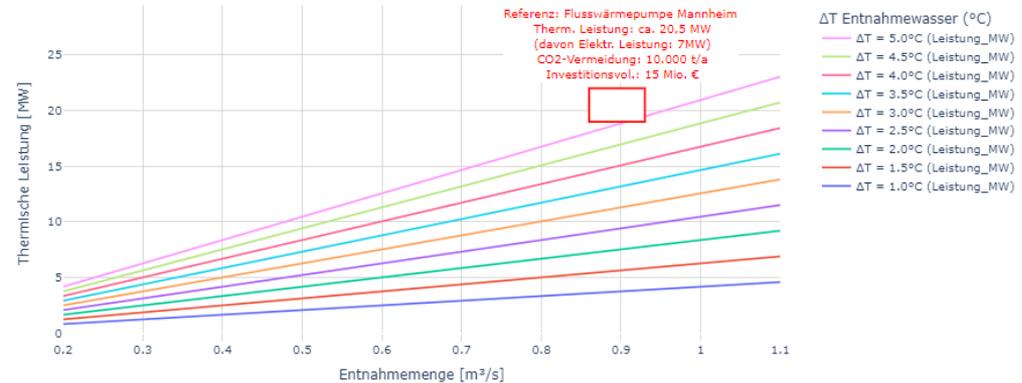
Potenzialanalyse Wärme - Flusswärme



Thermisches Potenzial:

Berechnet wurde das thermische Gesamtwärmepotenzial bzw. die thermische Gesamtleistung der Ruhr in Hattingen sowie die thermische Leistung für verschiedene Entnahmemenge unter Vergleich bereits gebauter Flusswärmepumpen. Weiterhin wurden zusätzlich die Potenziale der zwei nächstgrößeren Gewässer (Deilbach und Paasbach) berechnet.

Thermische Leistung gegen Entnahmemenge



Gesamtkontext der kommunalen Wärmeplanung

